COMMENT

L'AIR A ÉTÉ LIQUÉFIÉ

Les anciens n'ont jamais connu les corps gazeux; l'existence même de l'air était mise en doute; elle ne fut sérieusement prouvée qu'au XVIIe siècle ; mais, à cette époque, presque au même moment, de 1602 à 1626, naissaient quatre philosophes qui semblent avoir reçu la mission providentielle d'enseigner aux hommes les mystères de l'air : c'étaient, un Allemand, Otto de Guericke (1602); deux Français, Mariotte et Pascal (1620-1623); enfin un Anglais, Boyle (1626). Par une pensée de génie, Pascal devine que l'air, étant une matière, doit être pesant comme toutes les autres matières, que la terre doit être serrée et pressée par son enveloppe atmosphérique, et il le prouve par la célèbre expérience du puy de Dôme. Bientôt après, Otto de Guericke invente la pompe pneumatique, réussit à extraire l'air contenu dans un réservoir et confirme les idées de Pascal en prouvant que cet air est réellement pesant; enfin Mariotte et Boyle, au même moment, chacun de son côté, par des expériences presque identiques, démontrent que l'air est élastique, que son volume décroît par la pression, qu'il devient moitié moindre si elle est doublée, et qu'en général il se réduit proportionnellement à la compression qu'on lui fait subir. C'est ce que Mariotte appelait modestement une règle de la nature. Pour nous, c'est une loi physique, et, par un juste sentiment de reconnaissance nationale, nous l'appelons loi de Mariotte en France et loi de Boyle en Angleterre. Quel que soit le nom qu'on lui donne, il faut se la rappeler, car elle jouera un rôle dans ce qui va suivre.

Ces grandes découvertes ont été accomplies presque en même temps, vers 1650; après quoi, leurs auteurs disparaissent comme après une tâche accomplie : Pascal le premier, prématurément, en 1662, les trois autres à sept ans d'intervalle, de 1684 à 1691. Nés en même temps, morts au même moment, ils laissaient un monument terminé, un corps de doctrine complet; il n'y en eut jamais de plus précieux. Aucun siècle n'avait encore vu tant d'inventeurs heureux ni d'aussi grandioses découvertes. Aujourd'hui qu'elles sont loin de nous dans le passé, qu'elles sont devenues si familières et paraissent si naturelles, nous avons peine à concevoir l'enthousiasme qu'elles ont excité aux premiers jours; mais qu'on se figure Pascal prouvant à Clermont le décroissement de la pression depuis la cour d'un couvent jusqu'au sommet du puy de Dôme, ou qu'on se représente Otto de Guericke sur la place publique de Magdebourg, en présence de la ville assemblée, attelant seize chevaux aux deux moitiés d'une sphère où il avait fait le vide, sans pouvoir les séparer, et l'on comprendra l'étonnement des contemporains à la vue de pareilles révélations. Ajoutez que le monde lettré n'y était point préparé, que la chimie n'était pas dégagée de l'alchimie, que la physique n'avait pas abusé des merveilles et que l'électricité n'était point née. Quand elle se révéla, elle entraîna toutes les curiosités; on oublia Pascal et la pneumatique. D'ailleurs cette science avait besoin de se recueillir après un si grand effort; on croyait n'avoir plus rien à y découvrir. Boyle et Mariotte auraient été bien étonnés si quelqu'un était venu leur dire que cet air dont ils avaient réglé les propriétés pouvait être réduit en un liquide semblable à l'eau, même en un solide pareil à la neige. Il fallut près de deux siècles pour préparer cette nouvelle découverte : nous-même l'avons ignorée jusqu'au mois d'avril 1883, où l'Académie des sciences reçut de Cracovie ces deux dépêches successives :

« Oxygène liquéfié complètement : liquide incolore comme l'acide carbonique (9 avril). »

« Azote refroidi, liquéfié par détente; liquide incolore (16 avril).

« Wroblewski. »

Ainsi l'air avait donc été réduit à un volume mille ou quinze cents fois plus petit que dans les conditions ordinaires; il avait cessé d'être un gaz et pris l'apparence de l'eau. Ce stupéfiant résultat n'est que le dernier mot d'une longue suite de tentatives demeurées longtemps stériles; c'est le couronnement d'un édifice depuis longtemps commencé, auquel ont travaillé de nombreux ouvriers. Quel

a été le rôle et le mérite de chacun d'eux? C'est une longue histoire, bien connue des physiciens; mais, comme on peut supposer, sans injure, qu'elle n'est pas familière à tous les lecteurs de la *Revue,* j'entreprends de l'écrire parce qu'elle est dans la physique un chapitre isolé, indépendant des autres, et aussi parce qu'elle montre au prix de quels efforts la science se complète, à travers quelles obscurités elle cherche son chemin avant qu'elle puisse exprimer en quelques lignes une loi générale qui résume ce qui a coûté tant d'existences, tant de travail, tant de déceptions, mêlées à quelques rares réussites. Elle montre aussi tout le bénéfice que la société tire des sciences pour l'industrie, pour ses besoins ou son agrément.

I.

Van Marum, physicien et chimiste de Harlem, est connu pour avoir construit cette antique et respectable machine électrique, la plus grande connue, que nous avons admirée à l'exposition d'électricité; il méritait de rester célèbre, à plus juste titre, pour avoir le premier liquéfié un gaz. Voulant savoir si l'ammoniaque obéit à la loi de Mariotte, il la comprima, et, à six atmosphères, il la vit changer brusquement d'état pour devenir un liquide transparent. Van Marum n'était pas un esprit de bien grande portée; il ne prévit pas les conséquences générales de son expérience et n'en tira que l'honneur de l'avoir réussie le premier. Mais Lavoisier, qui voyait plus clair et plus loin, n'hésita point à prédire qu'elle se généraliserait, que toutes les matières échauffées ou refroidies prendraient les trois états, et il en décrivait les conséquences avec une netteté saisissante (1) : « Considérons un moment ce qui arriverait aux diverses substances qui composent le globe si la température en était brusquement changée. Supposons, par exemple, que la terre se trouvât transportée tout à coup dans une région... où la chaleur habituelle serait fort supérieure à celle de l'eau bouillante; bientôt l'air, tous les liquides susceptibles de se vaporiser à des degrés voisins de l'eau bouillante et plusieurs substances métalliques même entreraient en expansion et se transformeraient en fluides aériformes qui deviendraient partie de l'atmosphère.

« Par un effet contraire, si la terre se trouvait tout à coup placée dans des régions très froides, par exemple de Jupiter et de Saturne, l'eau qui forme aujourd'hui nos fleuves et nos mers, et

(1) *OEuvres de Lavoisier*, tome II, page 804.

probablement le plus grand nombre des liquides que nous connaissons, se transformeraient en montagnes solides...

« L'air, dans cette supposition, ou du moins une partie des substances aériformes qui le composent, cesserait sans doute d'exister dans l'état de fluide invisible, faute d'un degré de chaleur suffisant; il reviendrait donc à l'état liquide, et ce changement produirait de nouveaux liquides dont nous n'avons aucune idée. »

Lavoisier se trompait sur la température de Jupiter et de Saturne; il voyait juste sur la possibilité de ramener l'air à l'état liquide; mais, comme l'expérience n'avait pas prononcé, la prédiction n'était qu'une utopie qu'on oublia, et la question fut abandonnée. Elle sommeilla longtemps, pour ne se réveiller qu'en 1823 entre les mains de Faraday : ce fut le premier terrain d'études de ce grand physicien. Il était le fils d'un forgeron très misérable. A treize ans, il fut mis en apprentissage chez un relieur de livres. C'était un enfant curieux, et, dans le réduit étroit où il demeura pendant huit années, il s'oubliait en lisant les pages qu'on lui donnait à coudre. Le hasard mit entre ses mains un traité de chimie de M[me] Marcet, et une bonne étoile le conduisit aux leçons que Davy donnait à l'Institution royale. Il en fut ébloui, les rédigea et, après les avoir recopiées avec soin, les envoya au maître avec une lettre où il le suppliait de le débarrasser d'un métier qu'il détestait pour lui apprendre la chimie qu'il adorait. Davy fut touché; mais que pouvait-il faire de cet enfant? « Lui faire rincer les verres du laboratoire et voir ce qu'il vaut. » Davy se rendit à ce conseil donné par un ami, et voilà comment Faraday, « de l'état d'un ouvrier payé à l'heure, se vit transformé en philosophe, » comment, à vingt et un ans, il entra dans le laboratoire célèbre où Davy avait trouvé le potassium et où lui-même devait faire tant de découvertes. Il y entrait comme assistant, — nous dirions en France comme garçon de laboratoire, — avec un rang si humble qu'il touchait à la domesticité, au point que, dans un voyage qu'il fit en France en compagnie de son patron, Faraday ne fut pas toujours admis à la table des maîtres. Il est curieux de rappeler qu'un petit paysan bourguignon, qui se nommait Thénard, entra chez Vauquelin aux mêmes conditions, avec les mêmes promesses de gloire.

Tout changea pour Faraday quand il eut fait sa première découverte, la liquéfaction du chlore : il avait vingt-deux ans. Les détails de cette expérience ont été racontés par Tyndall et méritent d'être conservés. On savait que le chlore, en se combinant avec l'eau froide, forme des cristaux. Faraday les prit, les mit dans un tube, qu'il ferma, les fit fondre en les chauffant et vit deux liquides séparés : l'un qui était de l'eau, l'autre qui surnageait et qu'un

certain docteur Paris déclara ne pouvoir être que de l'huile laissée par négligence dans le vase. Mais Faraday, ayant ouvert le tube, vit cette matière bouillir et se résoudre avec explosion en un jet de gaz dont la couleur était verte: c'était du chlore. Faraday, qui était vif et avait été piqué, prit aussitôt sa revanche du docteur Paris, auquel il écrivit : « Vous apprendrez avec plaisir, monsieur, que cette huile laissée par négligence dans mon appareil n'était rien moins que du chlore liquéfié. »

Ce premier succès décida de la carrière du jeune chimiste; il proclama que tous les gaz auraient le même sort si on les comprimait assez, et, avec l'ardeur qu'il mit toujours dans ses recherches, il n'hésita point à se lancer dans une série d'essais dont le succès était probable et dont le danger était certain. Voici comment il opéra : Il prit un tube de verre épais, lui donna la forme Ω, qui est celle d'un U renversé; l'une des branches restait vide, on introduisait dans l'autre les matières destinées à produire le gaz qu'on voulait étudier et l'on fermait le tout. Obligé de s'accumuler dans la branche vide, ce gaz y acquérait une pression croissante et l'expérience n'avait que deux terminaisons possibles : ou bien le gaz ne changeait pas d'état, alors la pression croissait jusqu'à la rupture du vase; ou bien il atteignait sa limite de pression, alors le liquide apparaissait et s'accumulait tant que durait le dégagement gazeux. Une douzaine de gaz furent réduits de cette manière. Il faut citer ceux dont nous aurons bientôt besoin : l'ammoniaque, l'acide sulfureux, l'acide carbonique et le protoxyde d'azote, ce dernier exigeant à 10 degrés environ 60 atmosphères.

Ce chiffre ne laisse aucun doute sur le danger que l'on court à faire de pareilles études. Si l'on songe que, dans les chaudières à vapeur, qui sont en tôle de fer ou d'acier, on s'arrête généralement vers 10 atmosphères, si on récapitule le nombre et les malheurs de leurs explosions, on conçoit à peine comment un simple tube de verre puisse résister à un effort cinq ou six fois supérieur. Ce n'est rien encore quand le gaz peut atteindre une limite de liquéfaction, car alors la pression cesse de croître; mais s'il ne change point d'état, elle augmente continûment et indéfiniment, la rupture survient nécessairement, et la détente projette les débris de l'enveloppe comme la poudre les fragmens d'un obus. Au cours de ses recherches, Faraday a subi treize explosions de ce genre; elles ne l'ont point arrêté, mais on comprend aisément qu'elles n'ont point encouragé les autres.

Il existe heureusement un procédé moins offensif pour arriver au même résultat, il consiste à refroidir le gaz. De même que la vapeur d'eau se condense par l'abaissement de sa température, de même les gaz, qui sont de vraies vapeurs, peuvent céder à un froid suffisant.

Dès 1824, un an après le travail de Faraday, Bussy réussit à condenser le gaz qui se forme par la combustion du soufre et qu'on nomme acide sulfureux. Voici comment on opère : le gaz est introduit dans un ballon qui plonge au milieu du mélange réfrigérant, formé de glace et de sel. Il y entre, se liquéfie et ne sort pas; il s'accumule à l'intérieur et se conserve indéfiniment si on ferme le ballon dans la lampe d'émailleur; en se réchauffant, il donne des vapeurs qui le maintiennent sous pression, pourvu que le verre soit assez résistant. Ainsi, par deux procédés : par le froid et par la pression, et mieux encore par les deux moyens superposés, il est possible de liquéfier un grand nombre de gaz.

II.

Après ces belles expériences, il y eut un temps de repos pendant lequel on apprit à manier ces nouveaux liquides. On avait espéré qu'ils offriraient des propriétés nouvelles, qu'ils auraient des aspects particuliers, il n'en fut rien. Ils ressemblent à l'eau, à l'alcool, à l'éther; ils peuvent se congeler, se dilater, bouillir, reprendre l'état de gaz ou de vapeurs, et, à cette différence près que leur point d'ébullition est très bas, se comporter en tout comme le fait l'eau. On me pardonnera de résumer l'étude de ce dernier liquide.

Quand on le chauffe sur un foyer, il se tient immobile jusqu'à 100 degrés; mais, à ce moment, il se change en vapeurs qui naissent au fond du vase et remuent la masse en s'échappant : il bout. L'ébullition est caractérisée par cette importante circonstance que la température ne monte plus, qu'elle reste invariablement et indéfiniment fixe à 100 degrés. Il faut donc que la chaleur du foyer, au fur et à mesure de sa production, soit absorbée par le liquide et uniquement employée à le transformer en vapeurs. C'est là un fait capital qui a été découvert par un physicien anglais, nommé Black. Dans l'impossibilité où il était d'en donner une explication rationnelle, Black se contenta d'en démontrer la réalité, de le résumer par un mot et de dire que cette chaleur devient *latente*. Il vit qu'il fallait cinq fois et demie plus de temps pour vaporiser l'eau que pour l'échauffer depuis zéro jusqu'à 100 degrés, que, par conséquent, il faut cinq fois et demie plus de chaleur pour changer l'eau en vapeur que pour l'échauffer de zéro à 100 degrés. Après Black, et dans ces dernières années seulement, on a expliqué ce fait; il n'entre pas dans mon intention de donner cette explication.

Telle est la loi de l'ébullition dans l'air. Voyons ce qu'elle devient dans le vide. Il est clair que l'atmosphère, quand elle presse sur l'eau, oppose un obstacle à l'expansion de la vapeur, que cet obstacle augmente ou diminue avec cette pression, qu'il n'existe

plus dans le vide, et que l'ébullition doit s'y faire à une température moins haute, puisqu'elle est affranchie d'une cause qui la retardait. C'est, en effet, ce que l'expérience justifie : l'eau bout à 82 degrés ou à 65 degrés, quand la pression est réduite à la moitié ou au quart d'une atmosphère; elle bout même à zéro, même au-dessous de zéro dans le vide, et l'on assiste à ce remarquable résultat que les points d'ébullition et de congélation se rejoignent et que la glace se forme en même temps que la vapeur se dégage. Mais, bien que cette ébullition soit avancée, bien qu'elle se fasse à zéro au lieu de 100 degrés, bien que la vapeur soit froide et non chaude, que la transformation se fasse dans le vide et non dans l'air, c'est une loi générale qu'une grande quantité de chaleur soit dépensée, devienne latente et entre dans la constitution de la vapeur.

Je vais confirmer ces assertions par deux expériences classiques et curieuses : une marmite de bronze à parois très épaisses, remplie d'eau, fermée par un couvercle et ne communiquant avec l'extérieur que par une soupape chargée de poids, est placée dans un four, à une température très élevée que je suppose égale à 230 degrés. L'eau partage cette température; la vapeur s'accumule à l'intérieur, où elle atteint une force d'expansion énorme qui dépasse 27 atmosphères; elle y est maintenue par la résistance des parois et peut indéfiniment y rester. Mais aussitôt qu'on ouvre la soupape, elle s'échappe, et comme elle entraîne avec elle la chaleur nécessaire à son expansion, on voit progressivement baisser la température jusqu'à ce qu'elle ait atteint 100 degrés; après quoi l'ébullition se continue lentement et régulièrement à cette température; l'eau s'est donc refroidie et se maintient au-dessous de l'enceinte par l'effet même de l'ébullition, par la nécessité d'absorber la chaleur qu'exige sa transformation en vapeurs. C'est l'appareil connu sous le nom de marmite de Papin.

Voici maintenant une expérience toute pareille, mais faite dans le vide à la température ordinaire. Elle a été imaginée par Leslie, puis perfectionnée et appliquée aux besoins domestiques par M. Carré. On met de l'eau dans une carafe bouchée qui est en relation, par l'intermédiaire d'un tube, avec une pompe pneumatique. Aussitôt qu'on fait le vide, l'eau se met à bouillir et à se refroidir, car la vapeur ne peut se former qu'en empruntant de la chaleur, et elle ne peut en prendre qu'à l'eau elle-même. Celle-ci arrive à zéro et bientôt se congèle. Si on a la précaution d'absorber la vapeur dans un réservoir rempli d'acide sulfurique, l'action se continue tant que le vide dure, et la couche de glace augmente. Cet appareil est une glacière très simple, aussi utile qu'elle est commode, et qui démontre, comme nous voulions le

faire : 1° que l'ébullition peut se faire aux températures les plus basses, pourvu que la pression soit suffisamment diminuée; 2° qu'elle est toujours accompagnée d'un emprunt de chaleur; 3° qu'elle abaisse la température du liquide au-dessous de l'enceinte et d'autant plus que le vide est meilleur.

Si le lecteur a pu surmonter jusqu'au bout la fatigue de cette longue leçon de physique, il comprendra et même devinera sans peine les utiles et curieuses propriétés que vont lui offrir les gaz liquéfiés. Elles dérivent toutes de ce que le point d'ébullition de chacun d'eux est plus bas que la température de l'air ambiant; il est de 12 degrés au-dessous de zéro pour l'acide sulfureux, de — 78° pour l'acide carbonique; il descend jusqu'à — 80° pour le protoxyde d'azote. Dès lors, ces liquides placés dans l'air sont dans les mêmes conditions relatives que l'eau dans un four échauffé. Nous avons dit que, pour l'y conserver, il fallait opposer une résistance à son expansion, l'enfermer dans la marmite de Papin; il faudra de la même manière enfermer les gaz liquéfiés dans des réservoirs à parois épaisses, surtout éviter de les échauffer, si l'on veut éviter ces terribles explosions qui ont tant de fois mis en péril la vie de Faraday et causé la mort d'un jeune préparateur à l'École de médecine. A — 1° degré, la force d'expansion de l'acide carbonique atteint 37 atmosphères. A 40 degrés, rien n'y pourrait résister.

Mais, de même qu'une soupape soulevée laisse échapper la vapeur accumulée au-dessus de l'eau dans la marmite de Papin et détermine un abaissement de température considérable, de même il suffit d'ouvrir les réservoirs où l'on conserve un gaz liquéfié pour qu'il se refroidisse jusqu'à son point d'ébullition. Prenons comme exemple le liquide obtenu par la compression de l'acide sulfureux; aussitôt qu'on ouvre le réservoir qui le contient, il se met en ébullition très vive, la vapeur se forme, c'est le gaz qui se régénère; elle absorbe la chaleur latente qui lui est nécessaire; elle la reçoit des corps extérieurs par rayonnement; elle la prend au liquide lui-même, au vase qui le contient, aux matières que l'on y plonge; elle les refroidit progressivement tant qu'elle n'a pas atteint la limite fixe de 12 degrés au-dessous de zéro qui est le point d'ébullition de l'acide sulfureux; alors ce liquide est en équilibre entre deux causes de variation inverses, le rayonnement qui tend à le réchauffer, la vaporisation qui le refroidit. Le résultat final est que la température a diminué et demeure fixe à — 12 degrés.

Ce n'est pas tout encore : de même que le point d'ébullition de l'eau s'abaisse au-dessous de 100 degrés dans le vide, de même celui de l'acide sulfureux recule au-dessous de — 12 degrés. Bussy l'a vu atteindre — 68 degrés, et y persister; non-seulement l'eau, mais

encore le mercure s'y congelait. On peut, avec quelques précautions, faire l'expérience dans un creuset de platine chauffé au rouge sur un fourneau, y verser d'abord l'acide sulfureux, puis l'eau, et en retirer un culot de glace. C'est l'une des plus belles expériences de la physique. En résumé, l'ébullition des gaz liquéfiés refroidit tous les corps voisins, et le plus grand froid que l'on puisse obtenir se produira par leur ébullition dans le vide.

Cette propriété de l'acide sulfureux va se retrouver à un degré encore plus remarquable dans un autre gaz déjà liquéfié par Faraday, le protoxyde d'azote, corps composé des mêmes élémens que l'air, avec cette première différence qu'ils sont combinés et non mélangés, avec cette autre particularité qu'il y a deux fois plus d'oxygène pour la même quantité d'azote : aussi les combustibles y brûlent mieux et avec plus d'éclat que dans l'air : une allumette à peu près éteinte s'y rallume, et c'est le seul de tous les gaz connus qui partage cette propriété avec l'oxygène pur. Les anciens chimistes qui l'avaient découvert savaient qu'il peut être respiré sans autre danger que de causer une sorte d'ivresse, tantôt gaie, quelquefois larmoyante comme toutes les ivresses. Ce point physiologique est resté obscur jusqu'au moment où l'on reconnut que c'est un gaz anesthésique comme l'éther et le chloroforme. Ces propriétés singulières promettaient un liquide curieux. Faraday l'avait obtenu sans l'étudier ; après lui, Natterer construisit une pompe foulante qui pouvait développer plus de 2,000 atmosphères : il n'en fallait pas tant ; elle prenait le gaz dans un sac de caoutchouc et le comprimait dans un réservoir d'acier, comparable à un petit canon très épais, par un étroit conduit servant à la fois à l'introduction du gaz et à la sortie du liquide. Il suffit d'exercer une pression de 30 atmosphères à la température de 0 degré pour transformer le gaz en un liquide très limpide qu'on prendrait pour de l'eau et qu'on verse aisément dans des tubes de verre où il commence par bouillir, puis se maintient immobile après s'être refroidi jusqu'à — 80 degrés ; il garde toutes les propriétés qu'avait le gaz, c'est-à-dire qu'il endort les sujets qui le flairent et qu'il fait brûler avec flamme un morceau de charbon rouge que l'on introduit dans le tube ; il est toujours curieux de voir ce charbon se promener à 1,500 degrés au moins sur un liquide assez froid pour congeler le mercure ; si on fait le vide, on accélère l'ébullition, on augmente le froid et l'on arrive à 110 degrés au-dessous de zéro. Jamais aucun chimiste par aucun procédé n'avait atteint pareil refroidissement ; ce n'était cependant pas la dernière des limites possibles.

Avant Natterer, un ingénieur parisien, Thilorier, avait exécuté une autre liquéfaction que je cite en dernier lieu parce qu'elle est

plus complexe, celle de l'acide carbonique. Au rebours du précédent, ce gaz éteint les corps enflammés et asphyxie les animaux qui le respirent ; mais il a les mêmes propriétés physiques, se liquéfie aisément par pression et peut être accumulé dans de grands vases de fonte maintenus par un système de frettes que nous n'avons point à décrire. Aussitôt qu'on ouvre le robinet de décharge, un jet de gaz s'élance avec bruit comme le jet de vapeur de la marmite de Papin ; comme celui-ci, il se condense en un brouillard parce qu'en se dilatant il se refroidit au point d'atteindre la température de sa solidification ; il se gèle et retombe de tous côtés, sous la forme de neige. On la recueille dans des vases métalliques légers; elle est pure et blanche, on peut la tasser, en faire des boules comme avec la neige d'eau, seulement elle est incomparablement plus froide; elle se mêle avec l'éther en toute proportion et constitue le mélange réfrigérant le plus puissant que l'on connaisse, car on y congèle des masses de mercure dont on fait des médailles ou des statuettes; on peut aussi le marteler avec des maillets de bois; il ressemble à du plomb. La température est si basse que les organes s'y congèlent et s'y décomposent aussitôt. Cet acide solidifié comme tous les corps solides peut se garder très longtemps à l'air libre parce qu'il exige un emprunt considérable de chaleur avant de se résoudre en gaz. J'ai entendu raconter qu'un mathématicien célèbre en avait gardé un morceau dans sa bonbonnière et qu'il fut étonné de ne le point retrouver le lendemain. C'est ainsi que s'est vérifiée la prévision de Lavoisier : voici un corps gazeux, un de ceux qui jouent le plus grand rôle dans la nature, que la pression a réduit en liquide et que le refroidissement a solidifié, et il est permis de croire que ce qui a réussi avec l'acide carbonique se fera avec tous les corps de la nature ; leur état ne dépend que de la température : solides quand ils sont suffisamment refroidis, liquides quand on les comprime, gazeux en liberté de pression, avec abondance de chaleur.

Quand la science a semé, l'industrie vient faire la moisson ; puisque les gaz liquéfiés se mettent à bouillir à une température qui peut atteindre — 110 degrés, puisque la vapeur qu'ils émettent enlève une énorme quantité de chaleur aux corps voisins, il était possible de s'en servir pour geler l'eau, faire des boissons glacées, solidifier du mercure, rafraîchir les caves à bière, empêcher la corruption des alimens, etc. On a trouvé des animaux antédiluviens conservés dans les neiges depuis l'époque glaciaire, on pouvait par le même procédé ramener les viandes d'Amérique congelées dans des navires refroidis. Un art nouveau devenait possible, l'art de faire du froid, il est aujourd'hui en pleine prospérité ; il est fondé sur ce principe général : comprimer un gaz jusqu'à le liquéfier dans un *compresseur* en

l'empêchant de s'échauffer par un courant d'eau ordinaire, introduire le liquide dans un *réfrigérant* où il bout et dont il absorbe la chaleur, le reprendre par une pompe aspirante et le refouler de nouveau dans le compresseur. L'action est continue, le même gaz sert indéfiniment; il n'y a d'autre dépense à faire que celle exigée par le travail des pompes.

C'est à M. Carré qu'on doit la première application de ce principe. Le gaz qu'il choisit est celui que Muschenbroek avait tout d'abord liquéfié, l'ammoniaque. De grands appareils animés par de puissantes machines à vapeur fonctionnent aujourd'hui dans toutes les parties du monde. J'en ai vu à Suez qui rendaient de grands services pendant les chaleurs. Mais M. Carré a construit également des glacières de ménage qui n'exigent aucun moteur. Deux vases en tôle de fer hermétiquement fermés, mais réunis par un tube en acier, contiennent une solution concentrée d'ammoniaque. On chauffe le premier, l'ammoniaque en est chassée et va s'accumuler dans le second, qui est maintenu dans un baquet plein d'eau froide. Cette première opération n'a pour but que de préparer l'expérience. Après quoi on supprime le foyer et on retourne l'instrument, c'est-à-dire qu'on met le premier vase dans le baquet : l'ammoniaque y retourne, entre en ébullition dans le second, qui se refroidit jusqu'à — 10 degrés et qui congèle les liquides qui sont autour.

Après M. Carré, M. Raoul Pictet a employé l'acide sulfureux, qui peut donner un froid plus considérable, de — 65 degrés. On a vu le dispositif à l'exposition dernière. M. Pictet commence par refroidir jusqu'à — 10 degrés environ une grande masse d'eau, où on a fait dissoudre du chlorure de magnésium, qui l'empêche de se congeler, et l'on y plonge des moules en fer remplis d'eau. Au bout de peu de temps, cette eau est congelée, et on retire de grands prismes de glace très pure. Enfin M. Tellier a employé comme gaz réfrigérant l'éther azotique avec le même succès; la méthode est générale, le gaz seul est différent.

III.

Revenons aux idées théoriques. Malgré ces belles applications, malgré l'emploi des plus énergiques efforts, le but final n'était pas atteint; quelques gaz avaient cédé sans doute, mais un grand nombre d'autres, rebelles à toute tentative, à la pression comme au froid, avaient obstinément résisté. Fallait-il se résigner à dire que la loi de liquéfaction n'est pas générale? devait-on persister à penser que les exceptions tenaient à l'insuffisance des moyens mis en œuvre? Faraday n'avait jamais varié, et comme on revient aisé-

ment aux premières affections de sa jeunesse, il crut le moment venu de faire un nouvel effort en faveur de ses croyances. Après vingt-deux ans de repos, il résolut de poursuivre la liquéfaction des gaz rebelles jusqu'au complet épuisement des moyens d'action. Ces moyens ne manquaient pas. Thilorier lui avait appris à solidifier aisément de très grandes masses d'acide carbonique, à les mêler avec l'éther pour en faire un mélange réfrigérant; le protoxyde d'azote, qui se préparait avec la même facilité et avec la même abondance, pouvait bouillir très régulièrement dans le vide à la température de — 120 degrés au-dessous de zéro. Faraday avait donc toute possibilité de soumettre les gaz à des froids jusqu'alors inconnus. Comme, d'autre part, il fallait les comprimer, il fit construire une pompe foulante à deux corps, l'un qui prenait le gaz à sa naissance et l'accumulait à 15 atmosphères dans un réservoir, l'autre qui l'y repuisait pour le refouler avec une pression incomparablement plus grande dans un réfrigérant en verre de bouteille, étroit, épais, très solide, qui plongeait dans l'acide carbonique ou dans le protoxyde d'azote. Ainsi le froid se combinait avec la pression. A ce moment, on ne pouvait faire davantage : ce fut heureusement assez pour vaincre la plupart des difficultés. Faraday eut la satisfaction de liquéfier presque tous les gaz connus et d'étendre la loi qu'il avait énoncée; mais il eut le regret amer d'échouer devant des résistances infranchissables : sa terre promise lui échappa. Six gaz, seulement six, persistèrent, il faut les citer, ce sont : l'hydrogène bicarboné ou gaz d'éclairage, le gaz des marais, l'oxyde de carbone, les deux élémens de l'air, oxygène et azote, et enfin le plus léger et le plus réfractaire de tous, l'hydrogène.

La science est une bataille qu'il faut toujours recommencer : plus ils se défendaient, mieux on poursuivit les gaz. On chercha d'abord de nouveaux et plus énergiques moyens de compression. Aimé, qui était professeur à Alger, profita du voisinage pour faire plonger dans la mer des manomètres pleins d'air. La pression atteignait 400 atmosphères à une lieue de profondeur, mais ce fut inutilement ; la sonde relevée, Aimé ne vit aucun indice de liquéfaction. M. Berthelot alla plus loin et plus simplement ; il construisit une espèce de thermomètre à mercure avec un grand réservoir, avec une tige très étroite, remplie d'air et fermée. En chauffant, le mercure se dilatait, réduisait le volume du gaz autant qu'on le voulait, jusqu'à la rupture du tube ; rupture sans danger parce que le vase était trop petit et que le mercure se dilatait très peu quand elle avait lieu. Soumis à cette formidable épreuve, l'oxygène supporta 780 atmosphères, la plus haute pression qu'on eût encore produite ; le tube se brisa, l'oxygène n'avait pas changé d'état.

M. Cailletet, dont le nom va revenir souvent dans cette étude, employa ensuite, sans plus de succès, une pompe à pression hydraulique avec laquelle il pouvait comprimer l'air et l'hydrogène jusqu'à plus de 700 atmosphères; puis il imagina le procédé suivant, aussi original que simple. Un tube d'acier très flexible, très long, très fin, que l'industrie sait préparer aujourd'hui par une merveille d'adresse et dont le canal intérieur est rempli de mercure, fut enroulé sur un tambour au-dessus du puits artésien que l'on creusait sur la Butte-aux-Cailles. Ce tube était joint à son extrémité inférieure avec un manomètre plein de gaz qu'on descendait dans le puits en déroulant le treuil; la colonne de mercure s'allongeait, exerçait sur le gaz une pression croissante et qui atteignait 1,000 atmosphères à la profondeur de 760 mètres; mais rien ne se produisit. Après des tentatives si nombreuses, poussées si loin, jusqu'à la rupture de tous les vases, on fut bien obligé de reconnaître qu'à la température ordinaire la pression seule, tout énorme qu'on la fasse, est impuissante à liquéfier les gaz. On y renonça. Quant à la cause de cet insuccès, elle est tout entière dans l'ignorance où on était alors des propriétés fondamentales des gaz.

Les expériences de Mariotte et de Boyle n'avaient aucune précision: les physiciens le savaient et beaucoup voulurent les recommencer et surtout les étendre; ils ne réussirent qu'à augmenter la confusion jusqu'au moment où Dulong et Arago, avec leur grande autorité et après des mesures qui dépassaient en exactitude tout ce qu'on avait fait jusque-là, déclarèrent exacte pour l'air, jusqu'à 30 atmosphères, une loi si contestée. Ce fut avec un véritable étonnement que Despretz renouvela les doutes en prouvant que chaque gaz a son allure individuelle et qu'il n'y a pas de loi générale; enfin, Regnault recommença le travail de Dulong, confirma les exceptions de Despretz. On doit avouer que son travail est un chef-d'œuvre d'exactitude; mais il opérait à la température ordinaire et s'arrêta à 30 atmosphères : ce n'était pas une solution générale; il aurait fallu étudier tous les gaz depuis les plus faibles jusqu'aux plus énergiques pressions; il aurait fallu surtout chercher l'effet des températures depuis les plus basses jusqu'aux plus élevées; mais personne n'y avait encore songé.

C'est un physicien anglais, Andrews, qui attaqua le problème dans sa généralité et changea la question de face. Andrews prend l'acide carbonique comme type; il le prend à l'état de gaz vers 13 degrés et le comprime. Ce gaz commence par diminuer de volume suivant une progression plus rapide que la loi de Mariotte et qui s'exagère de plus en plus. A 50 atmosphères, il se liquéfie tout à coup, prenant brusquement une densité très grande et tombant au fond du vase, où il demeure séparé de sa vapeur par une sur-

face nettement tranchée, comme celle qui limite l'eau dans l'air. Andrews recommence ensuite la même expérience à une température plus élevée, à 21 degrés. Les mêmes résultats se reproduisent, la même liquéfaction s'accomplit; il n'y a qu'une différence à noter, c'est qu'elle est moins brusque; elle est comme annoncée à l'avance par une diminution de volume plus rapide avant qu'elle commence, et qui persiste après qu'elle est accomplie. Il semble que l'état liquide se prépare avant de se réaliser et se complète ensuite. A la température de 32 degrés, cette préparation avant, cette continuation après, sont beaucoup plus accentuées, et au lieu d'un liquide séparé et distinct, on ne voit sur les parois que des stries ondoyantes et mobiles, seuls indices d'un changement d'état qui ne parvient pas à se parfaire. Enfin, au-dessus de 32 degrés, il n'y a plus ni stries ni liquéfaction, mais il semble que le souvenir s'en conserve encore, car, pour une pression déterminée, la densité augmente plus vite et le volume diminue plus rapidement : 32 degrés sont donc une limite, un passage entre les températures qui permettent ou empêchent la liquéfaction; c'est *le point critique,* qui marque la séparation entre deux états très différens de la matière; au-dessous, elle peut prendre l'aspect de liquide; au-dessus, elle ne peut plus changer d'aspect, mais elle entre dans une nouvelle constitution dont nous allons caractériser les conditions.

En général, un liquide a beaucoup plus de densité que sa vapeur; c'est pour cette raison qu'elle va au-dessus, qu'il tombe au fond et que tous deux sont séparés par une surface de niveau. Mais chauffons le vase qui les contient; on sait que le liquide éprouve une dilatation qui s'exagère peu à peu jusqu'à égaler et même dépasser celle du gaz, d'où il suit qu'un volume égal pèse de moins en moins. D'autre part, une quantité de vapeur de plus en plus grande se forme, s'accumule au sommet et devient de plus en plus lourde. Or, si la densité de la vapeur augmente, si celle du liquide diminue, elles arrivent à être égales quand la température est suffisante. Alors il n'y a plus de raison pour que le liquide tombe, pour que la vapeur monte, pour qu'il y ait une surface de séparation; ils restent mêlés et confondus. Ils ne se distinguent pas davantage par leur chaleur de constitution; il est vrai qu'en se vaporisant un liquide absorbe une grande quantité de chaleur latente, mais elle est employée tout entière à écarter les molécules et à les maintenir à distance; elle est nulle si cette distance n'augmente pas. On voit donc qu'au point critique on ne sait si la matière est liquide ou bien gazeuse, puisque sous l'un ou l'autre état, elle a la même densité, la même chaleur de constitution, le même aspect, les mêmes propriétés : c'est un état nouveau, l'état *gazo-liquide.*

L'expérience avait devancé cette explication. Cagniard-Latour,

— un physicien ingénieux à qui on doit de curieux travaux et, en particulier, le premier emploi du gaz à Paris, dans le passage des Panoramas, — avait enfermé de l'éther dans des tubes de verre très résistans et les avait chauffés sur un fourneau, au péril de sa vie, jusqu'à des températures très élevées. Le liquide disparaissait tout entier ou se reformait brusquement pour le moindre échauffement ou le plus petit abaissement de température parce qu'il était au-dessus ou au-dessous du point critique.

La découverte de ces propriétés fit voir comment les tentatives pour liquéfier l'air avaient dû rester inutiles; c'est qu'à la température ordinaire il est dans l'état gazo-liquide; la liquéfaction n'est possible que s'il peut se séparer de la vapeur par une densité plus grande; il faut donc commencer par abaisser sa température au-dessous de son point critique; c'est ce que comprirent, c'est ce qu'exécutèrent presque en même temps MM. Cailletet et Raoul Pictet. M. Cailletet n'est point un savant de profession, c'est un curieux. Maître de forges en Bourgogne, physicien à Paris, partageant son temps entre les attraits du laboratoire et les nécessités de son industrie; c'est un homme de ressources, patient et entêté dans ses projets, ce qui est la première qualité du physicien. Comme les procédés de réfrigération alors connus ne dépassaient pas 110 degrés au-dessous de zéro, il eut l'idée d'utiliser la détente. Voici ce que c'est : lorsqu'on a échauffé jusque vers 200 degrés de l'eau enfermée dans la marmite de Papin et qu'on ouvre tout à coup la soupape, la vapeur accumulée sous la pression de 30 ou 40 atmosphères s'échappe en se dilatant, en absorbant de la chaleur latente; formée à 200 degrés, elle se refroidit au point qu'on peut sans danger tenir la main dans le jet, qu'elle se condense en un brouillard épais et en pluie qui retombe tout autour du fourneau. C'est cette dilatation brusque qui constitue la détente, c'est cette chaleur absorbée qui refroidit et liquéfie la vapeur. Pareillement Thilorier accumula dans sa marmite une grande masse d'acide carbonique liquéfié sous la pression de sa vapeur, puis il ouvrit le conduit, laissa le gaz se détendre dans l'air et vit comme avec la vapeur un brouillard se former. C'était l'acide carbonique lui-même, tellement refroidi par sa détente que non-seulement il redevenait liquide, mais passait à l'état de neige solide. J'ai déjà dit comment il la recueillit et l'usage qu'il en fit. C'est cette expérience, une des plus belles de la physique, qu'il s'agissait de répéter avec l'azote, l'oxygène et l'hydrogène, après les avoir comprimés et refroidis par les moyens ordinaires, avec l'espoir de les refroidir assez pour voir ce brouillard caractéristique qui devait démontrer leur liquéfaction

momentanée, et que l'on pourrait peut-être recueillir à l'état solide, comme Thilorier l'avait fait de l'acide carbonique.

Le 2 décembre 1877, M. Cailletet avait entassé de l'oxygène jusqu'à 300 atmosphères dans un tube de verre et l'avait refroidi jusqu'à — 29 degrés; le gaz n'avait point changé d'aspect et était, suivant toute probabilité, à cet état gazo-liquide dont nous venons de parler; il ne lui manquait pour se liquéfier que d'être refroidi. Alors on ouvrit la soupape, le gaz se détendit, sa température baissa de 200 degrés, et l'on vit sortir le jet caractéristique de brouillard blanchâtre dont l'acide carbonique avait offert le premier exemple. L'oxygène avait donc été momentanément liquéfié, peut-être solidifié. Il en fut de même de l'azote; rien de bien net ne se vit avec l'hydrogène.

Pendant que M. Cailletet faisait à Paris cette expérience décisive, M. Raoul Pictet la préparait, de son côté, à Genève. Héritier d'un grand nom scientifique, dans une ville studieuse entre toutes, il avait suivi une voie contraire à celle de M. Cailletet; élevé pour le professorat, il s'était laissé tenter par l'industrie et avait monté une grande usine pour fabriquer de la glace par l'ébullition de l'acide sulfureux. Ayant à sa disposition toutes les matières nécessaires, il comprima l'oxygène jusqu'à 320 atmosphères dans un réservoir refroidi à — 140 degrés par l'acide carbonique bouillant dans le vide. Il est probable que, dans ces conditions, le gaz était au-dessous du point critique et liquéfié. Quand on ouvrit tout à coup, il se mit à bouillir et fut projeté de tous côtés. M. Pictet crut même avoir liquéfié, voire solidifié l'hydrogène, mais il est probable qu'il s'était fait illusion.

L'expérience de M. Pictet est du 22 décembre, vingt jours après celle de M. Cailletet. Il ne faut pas s'étonner du soin que nous prenons de fixer ces dates : la découverte des faits nouveaux est l'unique espérance du savant et la seule récompense de ses peines; elle illustre son nom, recommande sa personne et lui promet le souvenir de la postérité. La plus indéniable justice veut qu'elle soit attribuée à celui des concurrens qui, le premier, l'a annoncée au monde. Sur ce point, il ne peut y avoir aucun doute : M. Cailletet a vingt jours d'avance. Est-ce à dire qu'on doive effacer le nom de M. Pictet, considérer ses efforts comme nuls et lui refuser toute part dans l'honneur d'un si grand résultat? Personne ne voudrait le soutenir, et M. Cailletet lui-même ne l'a jamais demandé. Si l'on considère que les deux savans ont employé plusieurs années à méditer le sujet, à préparer des appareils, à inventer des méthodes, qu'ils travaillaient séparément, que les dates sont les mêmes, à quelques jours près, que d'ailleurs les appareils de M. Pictet étaient plus puissans, les résultats plus accentués et plus

décisifs, on devra admettre que, sans rien enlever à M. Cailletet, la gloire du succès doit être partagée, bien qu'inégalement, par M. Pictet et que les noms des heureux inventeurs restent indissolublement honorés. Je n'ai pas besoin d'ajouter qu'une estime et une amitié réciproques a depuis longtemps réuni ces deux hommes qu'une même pensée avait amenés sur un terrain commun.

IV.

A vrai dire cependant, la liquéfaction complète de l'hydrogène et des élémens de l'air n'avait pas été réalisée; personne n'avait encore vu les derniers représentans d'une classe rebelle accumulés à l'état statique au fond d'un tube et séparés de leur vapeur par cette surface concave bien nette qu'on nomme *ménisque*; mais on devait aux expériences précédentes la démonstration de ces deux points : la liquéfaction était possible, et, pour la réaliser, il suffisait d'abaisser la température au-dessous de — 120 degrés. Il n'y avait plus qu'à chercher des moyens de réfrigération assez puissans et il fallait s'adresser à l'ébullition de gaz plus récalcitrans que l'acide carbonique ou le protoxyde d'azote. Dans cette intention, Cailletet étudia l'éthylène.

L'éthylène est un hydrogène bicarboné de même composition que le gaz de l'éclairage; refroidi par l'acide carbonique jusqu'à — 73 degrés et comprimé à 56 atmosphères, l'éthylène se transforme aisément en un liquide qui bout dans l'air à la température de — 103 degrés, ce qui est une température encore trop élevée pour la recherche projetée ; mais elle devait s'abaisser beaucoup en faisant l'expérience dans le vide. M. Cailletet se disposait à la tenter ; il avait annoncé son projet à tout le monde et faisait construire des appareils lorsque l'Académie reçut les deux télégrammes que j'ai rapportés au commencement de cette étude. M. Wroblewski avait assisté dans le laboratoire de l'École normale aux expériences de M. Cailletet, dont il acheta les appareils; il les emporta à Cracovie, s'assura la collaboration d'un collègue, M. Olszewski, et fit bouillir l'éthylène, non plus dans l'air, mais dans le vide de la machine pneumatique. Il vit sa température s'abaisser depuis — 103 jusqu'à — 150 degrés. C'était le plus grand froid qu'on eût encore obtenu ; il était suffisant ; le succès fut complet et l'on vit l'oxygène, comprimé préalablement dans un tube de verre, devenir un liquide permanent, avec ménisque bien dessiné. Il se présenta, comme tous les autres, sous la forme d'une matière incolore et transparente, semblable à l'eau, un peu moins dense que l'eau, ayant son point critique à — 113 degrés, pouvant se former au-dessous, jamais au-des-

sus de cette température, bouillant avec rapidité à — 186 degrés. Quelques jours après ce premier succès, les deux professeurs polonais réussissaient de la même manière à liquéfier l'azote, matière plus réfractaire, qui exigeait 36 atmosphères et — 146 degrés. On remarquera que, pour arriver à ce double résultat, il avait fallu se livrer à des manipulations longues, difficiles et coûteuses. Un si grand refroidissement demande une ébullition dans le vide, c'est-à-dire rapide, exigeant la dépense d'une grande quantité d'éthylène : c'est pourquoi M. Cailletet, qui avait eu le regret d'être devancé, vient heureusement de prendre sa revanche en rendant l'opération plus aisée. Il s'est adressé à un autre carbure d'hydrogène, à celui qui se dégage souvent de la vase des marais, qu'on nomme formène; ce gaz se liquéfie moins aisément que l'éthylène, mais par cela même, il bout dans l'air à une température beaucoup plus basse, qui est de 160 degrés au-dessous de zéro. Cela suffit pour liquéfier l'azote et l'oxygène au milieu d'un bain de formène, avec autant de facilité que l'on en trouve pour l'acide sulfureux dans un mélange réfrigérant.

Si elle est résolue pour l'air, la question l'est-elle aussi pour l'hydrogène? M. Pictet l'avait abordée dans ses expériences; il avait comprimé l'hydrogène jusqu'à 320 atmosphères et l'avait refroidi à — 140 degrés; puis il ouvrit le conduit qui fermait le réservoir. Le gaz se précipita sous la forme d'un jet mêlé de brouillard dont la couleur parut être d'un gris d'acier; au commencement de l'expérience, il entraînait avec lui des fragmens solides qui retombaient sur le plancher et faisaient le même bruit que des grains de plomb : il était naturel de penser que l'hydrogène avait été non-seulement liquéfié, mais même solidifié. La chimie a depuis longtemps signalé l'hydrogène comme analogue aux métaux, car l'eau ressemble à un oxyde et l'acide chlorhydrique à un chlorure; aussi, quand M. Pictet annonça son expérience, on fut ravi d'apprendre que l'hydrogène était gris d'acier et tombait en grenaille. Malheureusement il y a des raisons sérieuses pour interpréter autrement cette expérience. Il faut, pour réussir, des froids bien autrement aigus; mais on peut les demander à l'oxygène et à l'azote. Puisqu'on sait maintenant les réduire, les préparer par grandes masses, on va les employer à leur tour, comme réfrigérans, pour attaquer l'hydrogène; ils prendront la place de l'éthylène, céderont la leur à l'hydrogène comprimé, et rien ne sera changé aux appareils. L'azote, qui est le plus réfractaire, atteint dans ces conditions des températures qui dépassent ce qu'on avait pu rêver; il atteint — 194 degrés dans l'air, et on peut l'amener à — 213 degrés dans le vide.

Ces températures sont tellement basses qu'il a fallu inventer de

nouvelles méthodes pour les mesurer. On ne pouvait employer le thermomètre à mercure puisqu'il gèle à — 40 degrés, ni celui qu'on fait avec l'alcool, car l'alcool se transforme en un solide blanc à — 130 degrés. Aucun liquide ne résistant, on a fait des thermomètres électriques ou à hydrogène. Comme on ne juge les choses que par comparaison, il est difficile de se faire une idée exacte de ces grands froids. D'après la nouvelle théorie, la chaleur n'est point un fluide, mais un mouvement des molécules; plus elles ont de mouvement, plus la température est élevée, et si elles étaient au repos, elles seraient sans chaleur, au *zéro absolu* de température. Person avait fixé ce zéro à — 160 degrés; d'autres considérations ont indiqué — 273 degrés. Ces évaluations ne sont pas probablement plus fondées l'une que l'autre; il n'est pas moins curieux de faire remarquer qu'en soumettant l'hydrogène au froid de — 213 degrés par l'azote bouillant dans le vide, on n'est pas très loin de lui avoir enlevé toute sa chaleur : c'est ce que viennent de faire, il y a quelques jours seulement, MM. Wroblewski et Olszewski, non plus en commun comme autrefois quand ils partageaient la gloire du succès, mais séparément, car, désunis et brouillés, ils prennent le public à témoin de leurs prétentions à la priorité. Contentons-nous de dire qu'ils arrivent à un même résultat. L'hydrogène comprimé autant qu'on le veut, refroidi par l'azote bouillant dans le vide, ne se liquéfie pas, ne se sépare pas en deux matières distinctes, l'une gazeuse au-dessus, l'autre au fond, limitée par un ménisque distinct : c'est encore un gazo-liquide; mais quand on le laisse se détendre en ouvrant le tube, on voit un liquide transparent et incolore.

Voilà donc enfin terminée cette question si longtemps et si obstinément poursuivie de la liquéfaction des gaz. En voyant la facilité des derniers procédés, on s'étonne qu'elle ait été si difficile à résoudre : c'est qu'à l'origine, tout était à trouver, la notion du point critique et les procédés de réfrigération ; c'est aussi qu'il fallait procéder par degrés, faisant servir chaque gaz à la réduction d'une autre matière plus réfractaire que lui-même; c'est enfin que, suivant le mot de Biot, il n'y a rien de si aisé que ce qu'on a découvert la veille, et de si difficile que ce que l'on doit découvrir le lendemain. On peut maintenant se demander si tant de peine était nécessaire pour aboutir à des liquides qui ressemblent à de l'eau et dont on ne tire aucun parti : il faut réserver le jugement de l'avenir. La chimie va s'occuper de ce nouvel état de la matière et l'industrie s'en emparer. Pour le moment, la philosophie naturelle a gagné de savoir que toutes les espèces de matières prennent les trois états et obéissent à des lois communes.

En terminant, je ne puis m'empêcher d'aborder une question toujours délicate : A qui faut-il attribuer particulièrement le mérite

d'avoir liquéfié les gaz? Sans contredit à Faraday dans le passé, et, dans le temps présent, à celui qui a construit les appareils nécessaires et qui a fait de ce sujet l'objet de ses constantes préoccupations, à M. Cailletet. Il est bien vrai qu'au dernier moment, deux hommes inconnus jusqu'alors, dont l'un avait assisté aux travaux de Cailletet et reçu ses confidences, lorsqu'il n'y avait presque plus rien à faire, se sont dépêchés d'exécuter l'expérience finale que Cailletet avait annoncée; ils ont fait œuvre d'ouvriers habiles, mais n'ont rien inventé, et, quoiqu'ils l'aient voulu, n'ont rien enlevé à Cailletet. En France, où les mœurs scientifiques ont gardé leur sévérité, l'opinion publique a défavorablement jugé ce procédé, et je suis heureux de m'appuyer sur le témoignage de notre regretté secrétaire perpétuel, M. Dumas. Voici un extrait de la dernière lettre qu'il écrivait de Cannes, à l'un de ses confrères, au sujet d'un prix à décerner :

« ... L'Académie décerne le prix Lacaze en ce moment. Elle se trouve en présence de candidats possibles, pouvant bien offrir des travaux de détail, bien faits, utiles à la science et dignes d'estime. Aucun d'eux ne sort de la ligne ordinaire.

« M. Cailletet m'a paru, au contraire, mériter ce prix comme ayant rendu le plus éminent service à la chimie générale, ou mieux encore à la philosophie naturelle, en créant l'admirable instrument au moyen duquel il a liquéfié quelques-uns des gaz les plus rebelles et rendu possible la liquéfaction de tous.

« Posée par Lavoisier, la question a été résolue par M. Cailletet, — j'allais dire par Cailletet : — L'air qui nous entoure peut être converti par le concours de la pression et du froid en un liquide comparable à l'eau.

« C'est un événement dont l'histoire de la science tiendra note ; il lie à jamais les noms de Lavoisier, de Faraday et de Cailletet. Cependant les dernières expériences effectuées à Cracovie, en fixant l'attention sur deux émules de M. Cailletet, peuvent avoir pour résultat de faire attribuer aux heureux exploitans de ses procédés un mérite qui devait être réservé à leur inventeur.

« Il y a là une question d'équité en même temps qu'un intérêt patriotique. Je voudrais que l'Académie prît la décision de proclamer le service éclatant rendu par M. Cailletet en lui décernant le prix Lacaze; il ne faut pas laisser le monde savant dans le doute sur le véritable auteur de la découverte qui range les gaz permanens au nombre des matières communes susceptibles de prendre à volonté l'état solide, liquide ou aériforme. — *Signé :* DUMAS. »

J. JAMIN.